

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
10. Mai 2001 (10.05.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 01/33061 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: F02D 41/20, (71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE00/03863 (72) Erfinder; und

(22) Internationales Anmeldedatum: 3. November 2000 (03.11.2000) (75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): CHEMISKY, Eric [FR/DE]; Frauenhoferstrasse 1, 93093 Donaustauf (DE). KAPPEL, Andreas [DE/DE]; Zugspitzstrasse 7, 85649 Brunnthal (DE). GOTTLIEB, Bernhard [DE/DE]; Elfenstrasse 16, 81739 München (DE). BAUSEWEIN, Andreas [DE/DE]; Gartenstrasse 16, 85416 Langenbach (DE). MEIXNER, Hans [DE/DE]; Max-Plank-Strasse 5, 85540 Haar (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

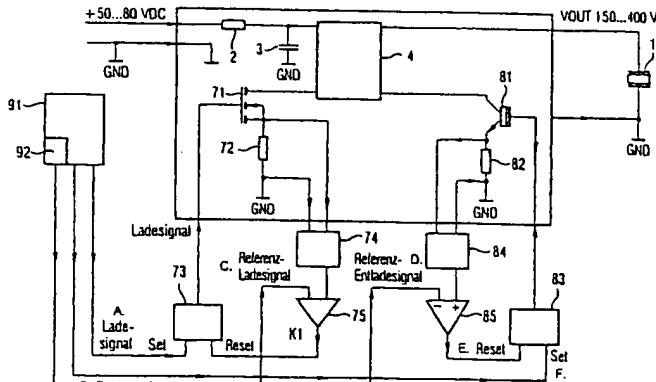
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
199 52 950.7 3. November 1999 (03.11.1999) DE

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CONTROL UNIT FOR A CAPACITIVE ACTUATOR

(54) Bezeichnung: ANSTEUEREINHEIT FÜR EIN KAPAZITIVES STELLGLIED



A...CHARGING SIGNAL  
B...REFERENCE SIGNAL  
C...REFERENCE CHARGING SIGNAL  
D...REFERENCE DISCHARGING SIGNAL  
E...RESET  
F...SET

(57) Abstract: The invention relates to a capacitive actuator, especially a piezoactuator in a fuel injection device, which is controlled by means of an output stage that is embodied as a fly back converter having a transformer. A charging and/or discharging device comprising a switching transistor that is switched into a connecting state by means of a pulse-width modulated signal is provided. The pulse duty factor of the pulse-width modulated signal is determined in such a way that the transistor remains in the connecting state until a current value which is measured on the transistor matches a variable reference current value.

WO 01/33061 A1

(57) Zusammenfassung: Ein kapazitives Stellglied, insbesondere ein Piezoaktor in einem Kraftstoffinjektor, wird von einer als Fly-Back-Konverter mit einem Transformator ausgebildeten Endstufe angesteuert, wobei eine Lade- und/oder Entladevorrichtung mit einem Schalttransistor vorgesehen ist, der mit einem pulsweiten-modulierten Signal in einen leitenden Zustand geschaltet wird, wobei das Tastverhältnis des pulsweiten-modulierten Signals so bestimmt wird, dass der Transistor so lange leitend bleibt, bis ein am Transistor gemessener Stromwert einem variablen Referenzstromwert entspricht.



(81) Bestimmungsstaaten (*national*): BR, CA, CN, IN, KR, MX, US.

— Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen.

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Veröffentlicht:

— Mit internationalem Recherchenbericht.

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

## Beschreibung

## Ansteuereinheit für ein kapazitives Stellglied

5 Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum variablen Ansteuern wenigstens eines kapazitiven Stellgliedes, insbesondere eines Piezo-Stellgliedes für einen Kraftstoffinjektor in einer Brennkraftmaschine, gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1.

10

Die in den letzten Jahren ständig strenger werdenden Abgasnormen für Motoren haben in der Kraftfahrzeugindustrie die Entwicklung von Kraftstoffinjektoren mit schnellen, verzögerungsfrei ansprechenden kapazitiven Stellgliedern ausgelöst.

15 Hierbei haben sich vor allem Piezo-Antriebe als vorteilhaft erwiesen. Um bei Piezo-Antrieben den erforderlichen Hub einer Düsenadel im Kraftstoffinjektor erreichen zu können, ist das Piezoelement im Allgemeinen aus einem Stapel von Piezo-Keramikscheiben zusammengesetzt, die über eine elektrische 20 Parallelschaltung betrieben werden, um die für einen ausreichenden Nadelhub notwendigen hohen Feldstärken erreichen zu können. Ein solcher Vielschicht-Piezoelement stellt dabei für die zur Steuerung eingesetzte elektronische Endstufe eine starke kapazitive Last dar, die in einer sehr kurzen Zeitspanne auf eine Sollspannung aufgeladen und anschließend wieder entladen werden muss. Um insbesondere die strengen Abgasgrenzwerte einzuhalten zu können, muss die Endstufe gewährleisten, dass der Piezoelement so angesteuert wird, dass die eingespritzte Kraftstoffmenge von Einspritzvorgang zu Einspritz- 25 vorgang exakt reproduzierbar bleibt. Außerdem soll die Endstufe den Piezoelement so anzusteuern können, dass neben der Haupteinspritzung kleinste Kraftstoffmengen vor bzw. nach dieser Haupteinspritzung vom Kraftstoffinjektor in den Brennraum abgegeben werden.

30

35

Bei piezoelektrischen Kraftstoffinjektoren werden zur Steuerung vorzugsweise elektronische Endstufen eingesetzt, die

nach dem Prinzip eines LC-Schwingkreises arbeiten, bei denen der Piezoaktor den Kondensator darstellt. Bei diesen Endstufen erfolgt der Ladeprozess des Piezoaktors als Umschwingvorgang der Ladung aus einer Ladungsquelle über eine Umladungsspule zum Piezoaktor, wobei die Induktivität der Umladungsspule zusammen mit den Kapazitäten der Ladungsquelle und des Piezoaktors, die Zeitkonstante für den Lade- bzw. Entladevorgang, d. h. für die Lade- bzw. Entladezeit bestimmt. Eine solche Endstufe ist u. a. in der US 5,130,598 beschrieben.

10

Bei den bekannten Endstufen ist es jedoch erforderlich, dass die Ladungsquelle bei LC-Gliedern wenigstens eine der Hälfte des maximalen Stellgliedspannung entsprechende Spannung liefern kann, was sie sehr kostenintensiv macht. Weiterhin wird 15 der Piezoaktor immer auf eine Nominalspannung aufgeladen, so dass schnelle Lade- und Entladevorgänge notwendig sind, um die gewünschten kleinen Kraftstoffmengen über den Kraftstoffinjektor einspritzen zu können. Solche schnellen Lade- und Entladevorgänge bei hohen Ladeströmen führen jedoch zu einer 20 großen Belastung der Piezo-Keramik und darüber hinaus zu einer starken Anregung der Resonanzfrequenzen des Kraftstoffinjektors, was zu einer hohen Schallentwicklung führen kann.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung 25 zum variablen Ansteuern eines kapazitiven Stellgliedes, insbesondere eines Piezoaktors zu schaffen, bei der mittels einer einfachen und kostengünstigen Schaltung beliebige Verläufe der Lade- bzw. Entladespannung des kapazitiven Stellgliedes möglich sind.

30

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

35 Die erfindungsgemäße Vorrichtung zeichnet sich durch einen Fly-Back-Konverter mit einem Transformator aus, der es ermöglicht, die bei einem Ladevorgang eines kapazitiven Stellgli-

des, insbesondere eines Piezoaktors eingespeiste elektrische Energie beim Entladen abhängig vom Wirkungsgrad des Piezoaktors größtenteils zurückzugewinnen, im Konverter zwischenzuspeichern und beim nachfolgenden Ladevorgang z. B. des nächsten 5 kapazitiven Stellgliedes wiederzuverwenden. Die erfindungsgemäße Vorrichtung hat weiter den Vorteil, dass eine Energiequelle nur eine wesentlich geringere Spannung als die am Stellglied benötigte Spannung erzeugen muss, wobei sich die Lade- und Entladedauer und die Spannung am Stellglied, um 10 einen bestimmten Hub zu erzeugen, beliebig festlegen lassen. Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird der Schalter der Lade- bzw. Entladeeinrichtung jeweils mit einem pulsweiten-modulierten Signal in einen leitenden Zustand geschaltet, wobei das Tastverhältnis des pulsweiten-modulierten Signals so 15 bestimmt wird, dass der Schalter so lange leitend bleibt, bis eine Vergleichseinrichtung feststellt, dass der am Schalter gemessene Stromwert einem Referenzstromwert entspricht. Durch diese Ausgestaltung lässt sich der zeitliche Verlauf der Lade- bzw. Entladespannung beliebig ausformen, wobei insbesondere 20 der Spannungsverlauf sich dahingehend optimieren lässt, dass die Schallentwicklung durch das kapazitive Stellglied minimiert ist.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird als Schalter für 25 die Lade- bzw. Entladeeinrichtung jeweils ein Transistor eingesetzt, wobei der Ladetransistor der Ladeeinrichtung bevorzugt ein selbstsperrender Feldeffekttransistor ist, der sich durch eine niedrige Verlustleistung auszeichnet, und wobei der Schalter der Entladeeinrichtung vorzugsweise ein Bipolartransistor mit isoliertem Gate ist, der eine hohe Durchbruchspannung besitzt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird das Referenzsignal über ein Hochpassfilter erzeugt, der einen von 30 einem konstanten Wert abweichenden Referenzsignalverlauf ermöglicht. Das Hochpassfilter kann dabei als RC-Glied zum Erzeugen eines logarithmischen Verlaufs der Spannung am kapazi-

tiven Stellglied oder als LC-Glied zum Erzeugen eines sinusförmigen Verlaufs der Spannung am kapazitiven Stellglied ausgestaltet sein. Alternativ kann der Referenzsignalgeber auch einen Digital/Analog-Wandler aufweisen, der von einem Prozessor angesteuert wird, um einen beliebigen Referenzsignalverlauf zu erzeugen.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

10

Figur 1 ein Prinzipschaltbild einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einer Ladeeinrichtung;

15

Figur 2 ein Diagramm der Signalverläufe in der Vorrichtung nach Figur 1 für ein konstantes Referenzsignal;

Figur 3 ein Diagramm der Signalverläufe bei einem mit einem RC-Glied erzeugten Referenzsignal;

Figur 4 ein Diagramm der Signalverläufe bei einem mit einem LC-Glied erzeugten Referenzsignal;

20

Figur 5A ein Prinzipschaltbild einer zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einer Lade- und einer Entladeeinrichtung; und

25

Figur 5B einen digitalen Referenzsignalgeber, wie er bei der in Figur 5A gezeigten Ausführungsform eingesetzt wird.

Die in Figur 1 als Prinzipschaltung dargestellte Vorrichtung zum variablen Ansteuern eines kapazitiven Stellgliedes wird in der vorgestellten Ausführungsform als Endstufe zum Ansteuern eines Piezoelements 1 eingesetzt. Die Endstufe wird von einer Energiequelle versorgt, die in der gezeigten Ausführungsform aus einem von einer Bordnetzspannung von 50 V bis 80 V gespeisten DC/DC-Wandler 2 mit einstellbarer Ausgangsspannung besteht, der einen Ladekondensator 3 auf die jeweils gewünschten Ausgangsspannung auflädt.

Parallel zum Ladekondensator 3 ist in der Endstufe eine Reihenschaltung aus der Primärspule 41 eines Transformators 4 und einer ersten Freilaufdiode 51, die vom Bezugspotential GND zur Primärspule 41 hin stromleitend ist, ausgeführt. Parallel 5 zur Primärspule 41 des Transformators 4 ist weiterhin eine erste Snubber-Schaltung 61 angeordnet, die aus einer Reihenschaltung eines Widerstandes 611 und eines Kondensators 612 besteht. Diese erste Snubber-Schaltung 61 dient dazu, die durch Streuinduktivitäten des Transformators 4 in der Primärspule 41 induzierten Spannungsspitzen zu eliminieren. 10

Parallel zur ersten Freilaufdiode 51 ist eine Ladeeinrichtung 7 geschaltet. Die Ladeeinrichtung 7 weist eine Reihenschaltung aus einem als Schalter dienenden Ladetransistor 71 und 15 einer nachgeordneten, als Strommesswiderstand 72 ausgebildeten Messeinrichtung 71 auf. Der Ladetransistor 71 ist in der gezeigten Ausführungsform ein selbstsperrender MOSFET, dessen Source in Reihe mit der Primärspule 41 geschalten ist. Das Drain des MOSFETs ist über den Strommesswiderstand 72 mit dem 20 Bezugspotential GND verbunden. Das Gate des Ladetransistors 71 wird von einem Lade-Flip-Flop 73 angesteuert.

Die am Strommesswiderstand 72 abfallende Spannung wird über 25 ein Tiefpassfilter 74 abgegriffen und in einen als Vergleichseinrichtung eingesetzten Komparator 75 eingespeist, der daraus den über den Ladetransistor 71 abfallenden Strom bestimmt. Das Tiefpassfilter 74 dient dazu, Stromspitzen, die sich durch die Schaltvorgänge des Ladetransistors 71 ergeben, auszufiltern. Der Komparator 75 wird weiterhin von einem Referenzsignalgeber 76 mit einem Referenzsignal versorgt, das 30 vom Komparator 75 mit dem gemessenen Stromwert verglichen wird. Der Referenzsignalgeber 76 wird dabei über ein Ladesteuersignal angestrengt. Der Lade-Flip-Flop 73 zum Ansteuern des Gate des Ladetransistors 71 wird immer von einem pulsweiten-modulierten Steuersignal getriggert und vom Komparator 75 35 zurückgesetzt.

Die Sekundärspule 42 des Transformators 4 ist gegenläufig zur Primärspule 41 gewickelt und auf der einen Seite an das als kapazitives Stellglied wirkende Piezoelement 1 angeschlossen. Auf der anderen Seite der Sekundärspule 42 des Transformators 5 4 ist eine zweite Freilaufdiode 52 angeschlossen, die vom Bezugspotential GND zur Sekundärspule 42 hin stromleitend ist. Parallel zur Sekundärspule 42 des Transformators 4 ist eine zweite Snubber-Schaltung 62 angeordnet, die sich aus einem Widerstand 621 und einem Kondensator 622 zusammensetzt. Die 10 zweite Snubber-Schaltung 62 dient dazu, die in der Sekundärspule 42 des Transformators 4 aufgrund von Streuinduktivitäten induzierten Spannungsspitzen zu unterdrücken. Parallel zur zweiten Freilaufdiode 52 ist eine Entladeeinrichtung 8 geschaltet. Der Aufbau (nicht gezeigt) der Entladeeinrichtung 8 15 ist dabei vorzugsweise symmetrisch zu der Ladeeinrichtung 7, wobei jedoch als Entladetransistor 81 vorzugsweise ein Bipolartransistor mit isoliertem Gate eingesetzt wird, der sich durch eine hohe Durchbruchsspannung auszeichnet.

20 Die Steuersignale der Ladeeinrichtung 7 und der Entladeeinrichtung 8 werden von einer nicht dargestellten Steuerschaltung ausgegeben, die Teil eines Motorsteuergeräts sein kann.

25 Die in Figur 1 gezeigte Endstufe für das Piezoelement 1 stellt einen Fly-Back-Konverter dar, bei dem die bei einem Ladevorgang in das Piezoelement 1 eingespeiste elektrische Energie beim Entladen im Wesentlichen zurückgewonnen, im Schaltnetzteil zwischengespeichert und für den folgenden Schaltvorgang verwendet werden kann.

30 Die in Figur 1 dargestellte Endstufe für das Piezoelement 1 arbeitet dabei wie folgt:  
In einem Ausgangszustand ist das Piezoelement 1 entladen und sowohl der Ladetransistor 71 als auch der Entladetransistor 35 81 befinden sich in einem nicht leitenden Zustand. Weiterhin ist der Ladekondensator 3 auf eine vorgegebene Ausgangsspannung des DC/DC-Wandlers 2 aufgeladen. Wenn das Piezoelement 1

geladen werden soll, wird die Ladeeinrichtung 7 von der Steuereinrichtung (nicht gezeigt) mit den Lade-Steuersignalen angesteuert. Die Ansteuersignale für den Referenzsignalgeber 76 und den Lade-Flip-Flop 73 sind in Figur 2 dargestellt. Weiterhin ist in Figur 2 der während des Ladevorgangs am Strommesswiderstand 72 gemessene Ladestrom und das vom Referenzsignalgeber 76 erzeugte Referenzsignal dargestellt. Außerdem sind das vom Komparator 75 an den Lade-Flip-Flop 73 ausgegebene Reset-Signal sowie das vom Lade-Flip-Flop 73 an den Lade-Transistor 71 ausgegebene Ladesignal und die daraus resultierende Spannung am Piezoelement 1 gezeigt.

Beim Aufladen wird der Lade-Flip-Flop 73 mit einem Steuersignal in Form eines pulsweiten-modulierten Signals mit einer vorgegebenen Frequenz, typischerweise im Bereich von 100 kHz, und einem vorgegebenen Tastverhältnis, vorzugsweise 50 %, angesteuert. Das pulsweiten-modulierte Signal setzt den Lade-Flip-Flop 73 mit jedem Puls leitend, wodurch vom Lade-Flip-Flop 73 auf das Gate des Lade-Transistors 71 ein gepulstes Ladesignal ausgegeben wird. Durch dieses gepulste Ladesignal wird der Lade-Transistor 71 leitend geschaltet, so dass ein Ladestrom  $I_d$  aus dem Ladekondensator 3 über die Primärspule 41 und den Lade-Transistor 71 fließt. Der Ladestrom  $I_d$  steigt dabei wegen der induktiven Last der Primärspule 41 des Transformators 4 linear an. Dieser Ladestrom  $I_d$  wird über die am Strommesswiderstand 72 abfallende Spannung vom Komparator 75 abgegriffen, wobei das Tiefpassfilter 74 Stromspitzen, die durch den Schaltvorgang des Lade-Transistors 71 erzeugt werden, unterdrückt.

Der Komparator 75 vergleicht den gemessenen Stromwert mit einem Referenzstromwert, der vom Referenzsignalgeber 76 während des Aufladevorgangs an den Komparator 75 angelegt wird. In der in Figur 2 gezeigten Ausführungsform ist dieses Referenzsignal auf einen konstanten Wert festgelegt. Stellt der Komparator 75 fest, dass der gemessene Ladestrom  $I_d$  dem vorgegebenen Referenzwert entspricht, wird vom Komparator 75 an den

Lade-Flip-Flop 73 ein Signal ausgegeben, das den Lade-Flip-Flop 73 zurücksetzt. Das Zurücksetzen des Lade-Flip-Flop 73 bewirkt, dass das vom Lade-Flip-Flop 73 auf das Gate des Ladetransistors 71 ausgegebene Ladesignal unterbrochen wird.

5 Der Ladetransistor 71 sperrt dann wieder und unterbricht damit den Ladestrom  $I_d$  so lange bis der Lade-Flip-Flop 73 durch das nächste Ansteuersignal neu getriggert wird.

Durch die Änderung des Ladestroms  $I_d$  in der Primärspule 41 des Transformators 4, insbesondere beim Unterbrechen des Ladestroms, wird in der Sekundärspule 42 des Transformators 4 eine dem Windungsverhältnis der Primärspule 41 zur Sekundärspule 42 entsprechende impulsförmige Spannung erzeugt, die von einem Filter (nicht gezeigt) geglättet wird. Bei der in 15 Figur 2 gezeigten Ausführungsform wird dabei aufgrund des konstanten Referenzsignals ein pro Ladestrompuls konstanter Energiepuls in der Sekundärspule 42 des Transformators 4 erzeugt. Diese konstanten Energiepulse laden das Piezoelement 1 auf, bis am Ende der Aufladezeit die gewünschte Piezo- 20 Spannung erreicht ist. Der Sekundärstromkreis mit der Sekundärspule 42 wird beim Laden des Piezoelements 1 dabei über die Freilaufdiode 52 geschlossen.

Das Entladen des Piezoelements 1 erfolgt dann ebenfalls mit 25 pulsweiten-modulierten Signalen der Entladeeinrichtung 8, wobei der als Bipolartransistor mit isoliertem Gate ausgebildete Entladetransistor 81 pulsförmig leitend und nicht-leitend gesteuert wird, wodurch die Spannung des Piezoelements 1 bis auf Null absinkt. Die Entladeeinrichtung 8 kann dabei analog 30 zur Ladeeinrichtung 7 aufgebaut sein mit einem Strommesswiderstand, einem Tiefpassfilter, einem Komparator, einem Referenzsignalgeber und einem Flip-Flop, um das Tastverhältnis der Ansteuerung des Entladetransistors 81 über eine Messung 35 des Entladestroms im Sekundärkreis des Transformators 4 zu bestimmen. Durch das Ändern des Entladestroms über die Ansteuerung des Entladetransistors 81 wird ein Teil der Entlaadeenergie auf die Primärseite des Transformators 4 zurück

übertragen und in den Ladekondensator 3 rückgespeichert. Der Primärstromkreis mit dem Ladekondensator 3 und der Primärspule 41 des Transformators 4 schließt sich dabei über die Freilaufdiode 51.

5

Der in Figur 2 gezeigte wurzelförmige Verlauf der Ladespannung ermöglicht es, das Piezoelement 1 mit Ladepulsen konstanter Energie aufzuladen, so dass Peakströme im Piezo-Antrieb vermieden werden. Der zeitliche Verlauf der Ladespannung kann dabei dahingehend optimiert sein, dass eine Schaltentwicklung am Piezo-Antrieb unterdrückt wird.

Durch die Snubber-Schaltungen 61, 62 wird gewährleistet, dass Spannungsspitzen aufgrund von Streuinduktivitäten in der Primärspule 41 bzw. der Sekundärspule 42, die zu Überspannungen führen könnten, verhindert werden. Die Snubber-Schaltungen 61, 62 könnten dabei auch, statt parallel zu den Spulen 41, 42 des Tranformators 4, parallel zur Ladeeinrichtung 7 bzw. Entladeeinrichtung 8 angeordnet sein. Weiterhin besteht die Möglichkeit, statt der Freilaufdioden 51, 52 den Primär- bzw. Sekundärstromkreis bei einer Spannungsinduktion über Transistoren synchron zu schließen. Der als Ladetransistor 71 in der Ladeeinrichtung 7 verwendete selbstsperrende MOSFET zeichnet sich durch einen geringen Widerstand beim Stromfluss zwischen Drain und Source aus. Hierdurch werden Verluste im Ladetransistor, die sich aufgrund der hohen Ströme beim Ladevorgang ergeben könnten, klein gehalten. Statt des verwendeten MOSFETs besteht jedoch auch die Möglichkeit andere Transistorbauelemente oder grundsätzlich andere Schalterformen einzusetzen. Dies gilt auch für den als Entladeschalter 81 in der Entladeschaltung 8 verwendeten Bipolartransistor mit isoliertem Gate. Dieser wird deshalb bevorzugt eingesetzt, da er sich durch eine hohe Durchbruchsspannung auszeichnet. Eine solche hohe Durchbruchsspannung ist insbesondere wegen der hohen auf der Sekundärseite auftretenden Spannungen wünschenswert.

Bei der in Figur 2 gezeigten Ausführungsform wird, wie erläutert, durch das konstante Referenzsignal des Referenzsignalgebers 76 eine Aufladung des Piezoelements 1 mit konstanten Ladungspulsen erreicht, wodurch sich ein wurzelförmiger Verlauf der Ladespannung am Piezoelement 1 einstellt. Bei der in Figur 1 gezeigten Endstufe besteht jedoch auch die Möglichkeit, andere zeitliche Verläufe der Spannung am Piezoelement 1 zu erzeugen.

10 In Figur 3 sind die der Figur 2 entsprechenden Signalverläufe für einen Referenzsignalgeber 76 gezeigt, der als RC-Glied ausgebildet ist. Dieses RC-Glied setzt sich aus einem Inverter 761, einen Kondensator 762 und einen Widerstand 763 zusammen, die in Reihe geschaltet sind, wobei das Referenzsignal zwischen dem Kondensator 762 und dem Widerstand 763 abgegriffen wird. Diese Schaltung führt zu einem exponentiell abnehmenden Verlauf des Referenzsignals und damit zu einem logarithmisch ansteigenden Verlauf der Ladespannung am Piezoelement 1, wie Figur 3 zeigt. Durch diese Ausgestaltung wird erreicht, dass mit dem Fly-Back-Konverter mit pulsweitenmodulierten Signal das Verhalten einer RC-Endstufe nachgestellt wird.

25 Figur 4 zeigt eine weitere mögliche Ausgestaltung, bei der der Referenzsignalgeber 76 als RC-Glied ausgestaltet ist. Hierbei sind eine Spule 764 und ein Kondensator 765 in Reihe geschaltet, wobei das Referenzsignal zwischen der Spule 764 und dem Kondensator 765 abgegriffen wird. Hierdurch ergibt sich ein im Wesentlichen cosinus-förmiger Verlauf des Referenzsignals, wodurch ein sinus-förmiger Verlauf der Ladespannung des Piezoelements 1 erzeugt wird. Der Fly-Back-Konverter bildet somit eine LC-Endstufe nach.

30 Die Verwendung von Hochpassfiltern als Referenzsignalgeber 76, wie in Figur 3 und Figur 4 gezeigt, erlaubt jedoch nur eine begrenzte Anzahl von Kurvenformen der Ladespannung bzw. Entladespannung am Piezoelement 1 zu erzeugen. Gemäß einer

weiteren Ausführungsform, die in Figur 5A gezeigt ist, kann deshalb der Referenzsignalgeber als Digital/Analog-Wandler 92 ausgestaltet sein, der von einem Mikroprozessor 91 angesteuert wird, um Referenzsignale mit beliebigen Kurvenformen zu erzeugen. Die Ankopplung des Mikroprozessors 91 an den Digital/Analog-Wandler 92 kann dabei, wie in Figur 5B gezeigt ist, mit einem einzigen 8-Bit-Port erfolgen. Der wesentliche Vorteil dieser Anordnung liegt darin, dass der Mikroprozessor 91 nicht selbst die pulsweiten-modulierten Signale mit bei jedem Puls neu kalkulierten Tastverhältnis erzeugt, sondern bei jedem Puls einen Digitalwert an den Digital/Analog-Wandler 92 ausgibt, der dann ein dem Digitalwert entsprechendes Referenzsignal erzeugt. Der Mikroprozessor 91 kann dabei auch zusätzlich die Steuersignale für den Lade-Flip-Flop 73 bzw. den Entlade-Flip-Flop 83 generieren, da diese Signale als einfache pulsweiten-modulierte Signale z. B. mit einem 50-%-Tastverhältnis ausgestaltet sind.

Wie Figur 5A zeigt, kann der vom Mikroprozessor 91 gesteuerte Digital/Analog-Wandler 92 als gemeinsamer Referenzsignalgeber sowohl für die Ladeeinrichtung 7 als auch für die Entladeeinrichtung 8 eingesetzt werden, da diese beiden Signale ja nur zu unterschiedlichen Zeitpunkten benötigt werden. Bei der in Figur 5A gezeigten Ausführungsform ist eine der Ladeeinrichtung 7 entsprechende Entladeeinrichtung 8 mit dem Entlade-Flip-Flop 83, einem Strommesswiderstand 82, einem Tiefpassfilter 84 und einem Komparator 85 gezeigt. Die in Figur 5A gezeigte Vorrichtung arbeitet dabei prinzipiell ähnlich wie die in Figur 1 gezeigte Endstufe.

Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung einer Vorrichtung zum variablen Ansteuern eines kapazitiven Stellgliedes als Fly-Back-Konverter mit einem Transistor bei dem das Tastverhältnis der pulsweiten-modulierten Signale zum Ansteuern des Lade- bzw. Entladetransistors über eine Messung der jeweiligen Ströme erfolgt, ist es möglich, beliebige Formen der Lade- bzw. Entladespannung am kapazitiven Stellglied zu

12

erreichen. Eine solche Vorrichtung eignet sich insbesondere als Endstufe für einen Piezoaktor.

Die in der vorstehenden Beschreibung, der Zeichnung und den 5 Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausgestaltungen von Bedeutung sein.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zum variablen Ansteuern wenigstens eines kapazitiven Stellgliedes, insbesondere eines Piezoelements (1) in einem Kraftstoffinjektor, mit einem von einer Energiequelle (2) auf ein bezüglich eines Bezugspotentials vorgegebene Spannung aufladbaren Ladekondensator (3),

10

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass parallel zum Ladekondensator (3) eine Reihenschaltung der Primärspule (41) eines Transformators (4) und einer Ladeeinrichtung (7) angeordnet ist,

15

dass die Sekundärspule (42) des Transformators (4) mit einer Entladeeinrichtung (8) und dem kapazitiven Stellglied (1) in Reihe geschaltet ist,

20

dass parallel zur Ladeeinrichtung (7) ein vom Bezugspotential (GND) weg stromleitendes Element (51) und parallel zur Entladeeinrichtung (8) ein vom Bezugspotential (GND) weg stromleitendes Element (8) geschaltet ist, und

25

dass die Ladeeinrichtung (7) und/oder Entladeeinrichtung (8) einen Schalter (71, 81), eine zwischen dem Schalter und dem Bezugspotential angeordnete Messeinrichtung (72, 82) zum Bestimmen des über den Schalter fließenden Stroms, einen Referenzsignalgeber (76, 92) zum Erzeugen eines Referenzstromwerte darstellenden Signalverlaufs, eine Vergleichseinrichtung (75, 85) zum Vergleichen des gemessenen Stromwertes mit dem Referenzsignal und eine Steuereinrichtung (73, 83) zum Ansteuern des Schalters (71, 81) mit einem pulsweiten-

30

modulierten Signal, um den Schalter in einen leitenden Zustand zu schalten, aufweist, wobei das Tastverhältnis des pulsweiten-modulierten Signals so bestimmt wird, dass der Schalter (71, 81) so lange leitend bleibt, bis die Vergleich-

35

seinrichtung (75, 85) feststellt, dass der gemessene Stromwert dem Referenzsignal entspricht.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
5 dass der Schalter (71, 81) der Ladeeinrichtung (7) und/oder Entladeeinrichtung (8) ein Transistor ist.

3. Vorrichtung gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,  
dass der Schalter (71) der Ladeeinrichtung (7) ein  
10 selbstsperrender Feldeffekttransistor ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,  
dass der Schalter (81) der Entladeeinrichtung (8) ein Bipolartransistor mit isoliertem Gate ist.

15 5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (73, 83) ein Flip-Flop zum Ansteuern des Schalters (71, 81) aufweist, wobei das Flip-Flop von einem konstanten Steuersignal getriggert wird  
20 und von der Vergleichseinrichtung (75, 85) zurückgesetzt wird, wenn der gemessene Stromwert dem Referenzsignal entspricht.

25 6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Referenzsignalgeber (76) ein Hochpassfilter zum Erzeugen eines von einem konstanten Wert abweichenden Referenzsignalverlaufes aufweist.

30 7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,  
dass der Referenzsignalgeber (76) ein RC-Glied zum Erzeugen eines logarithmischen Verlaufes der Lade- bzw. Entladespannung am kapazitiven Stellglied (1) aufweist.

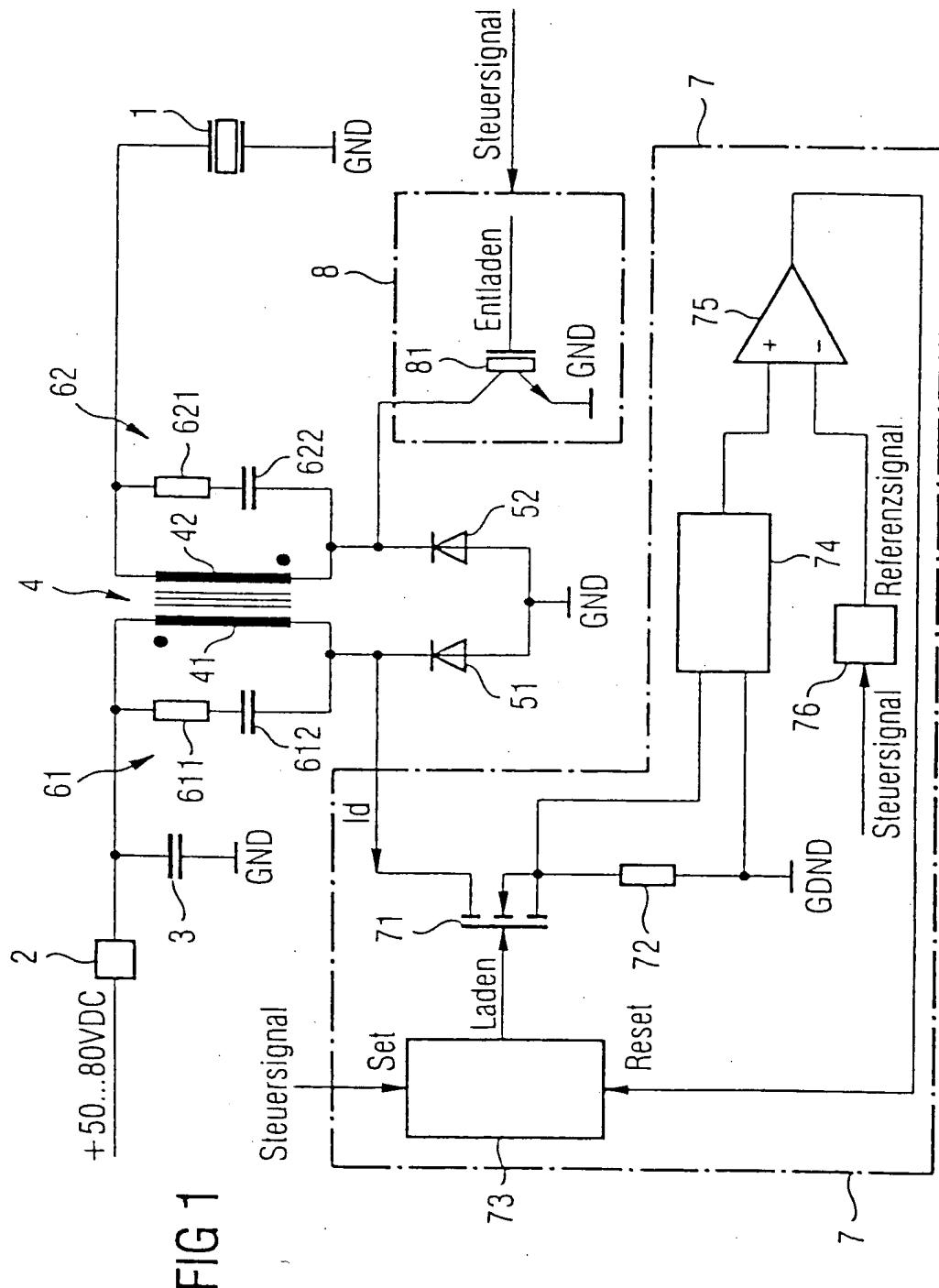
35 8. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,  
dass der Referenzsignalgeber (76) ein LC-Glied zum Erzeugen eines sinusförmigen Verlaufes der Lade- bzw. Entladespannung am kapazitiven Stellglied (1) aufweist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Referenzsignalgeber (76) einen Digital/Analog-Wandler (92) aufweist, der von einem Mikroprozessor (91) angesteuert wird, um den Referenzsignalverlauf zu erzeugen.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Ladeeinrichtung (7) und die Entladeeinrichtung (8) einen gemeinsamen Referenzsignalgeber aufweisen.

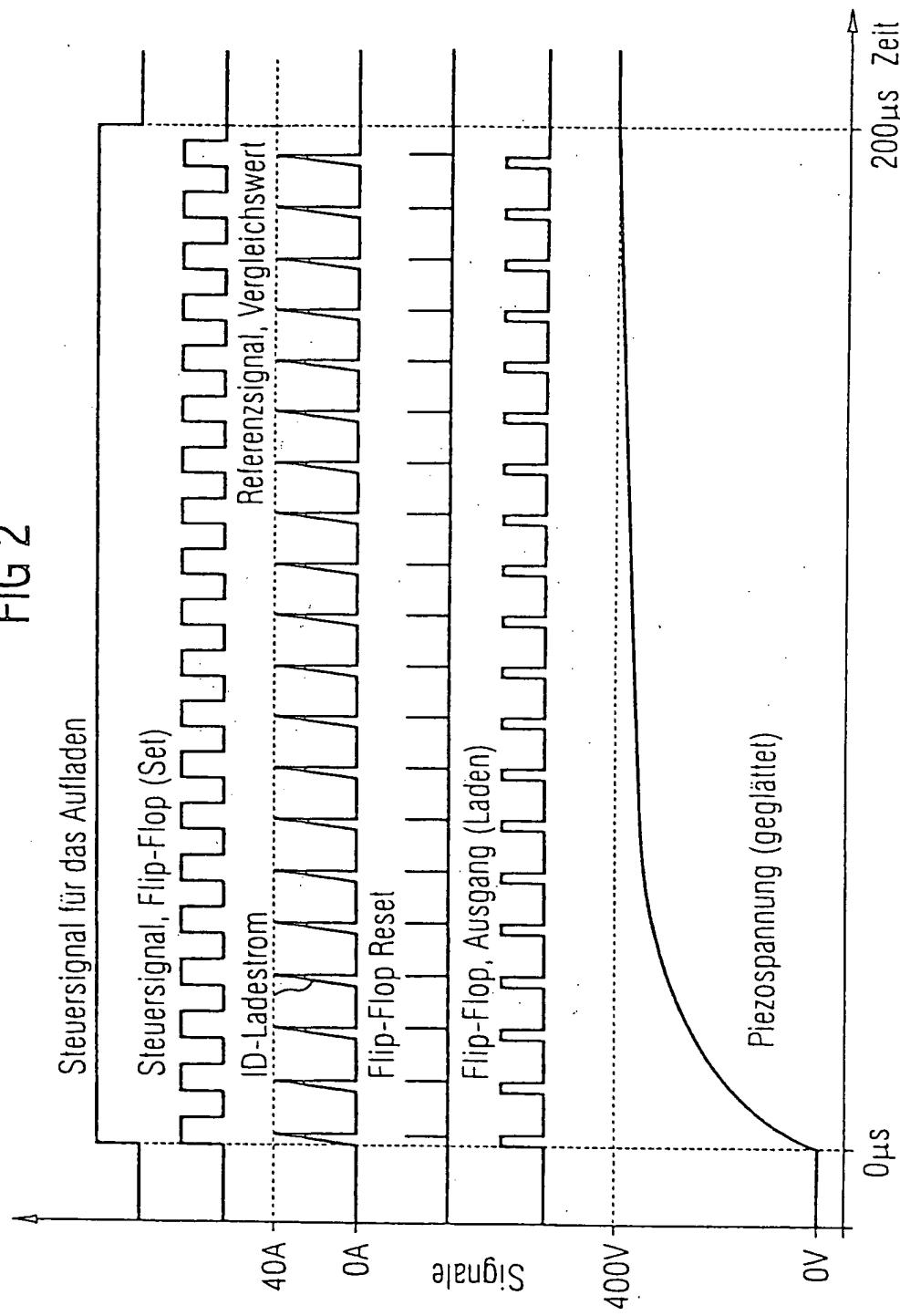
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass parallel zum Transistor (4) ein Snubber-Netzwerk geschaltet ist, um die durch Streuinduktivität im Transistor (4) erzeugten Spannungsspitzen zu dämpfen.

1/6



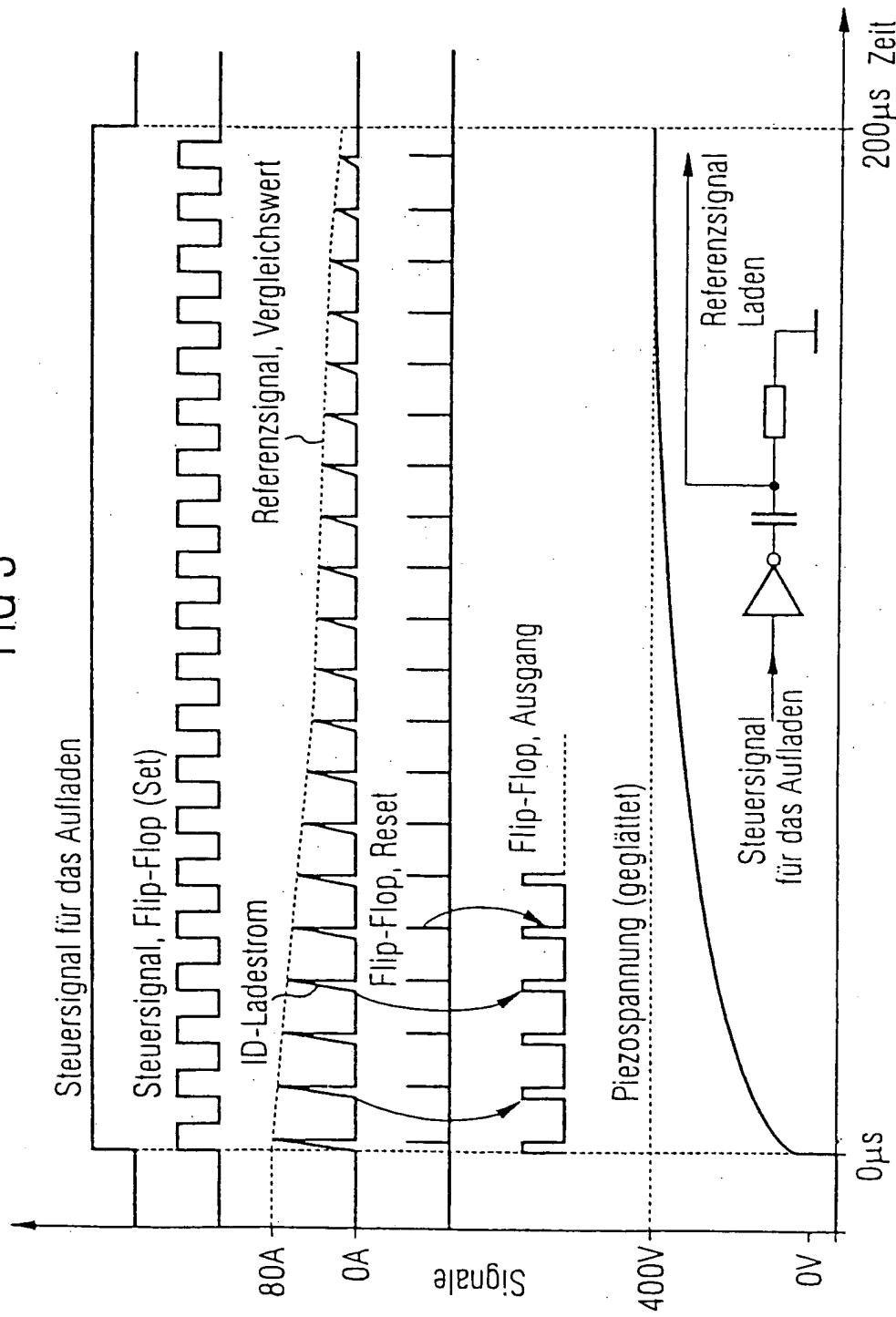
2/6

FIG 2



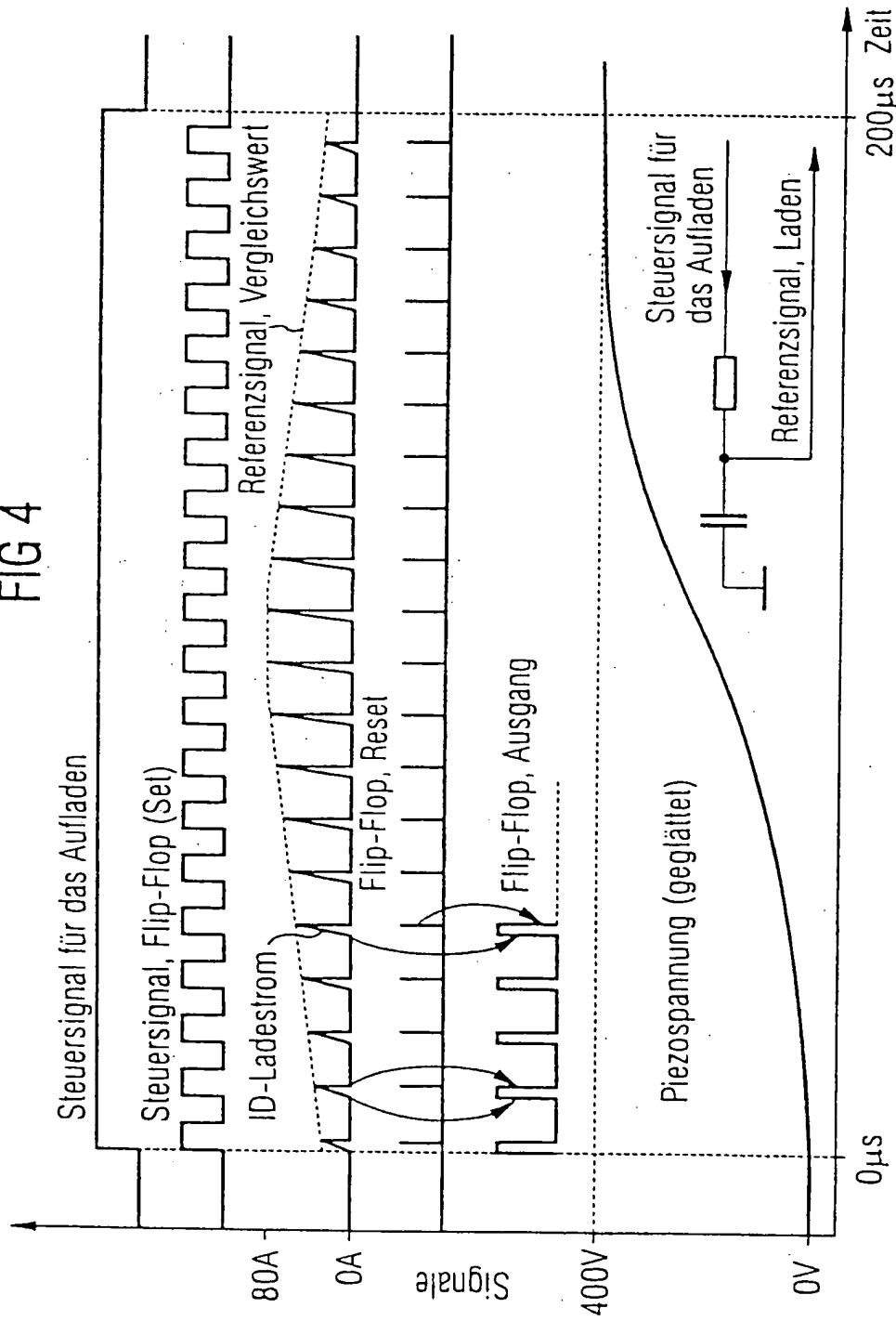
3/6

FIG 3



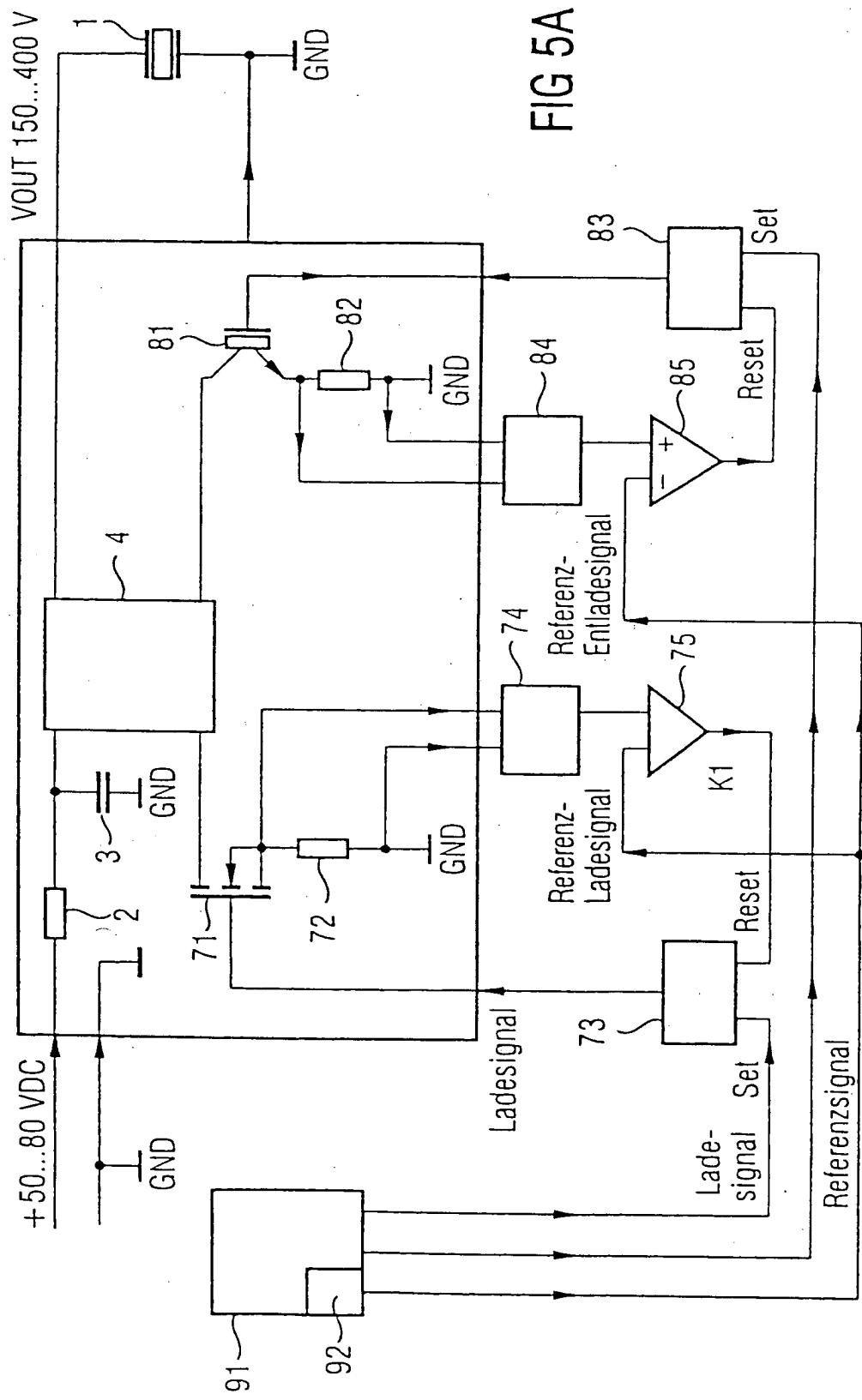
4/6

FIG 4



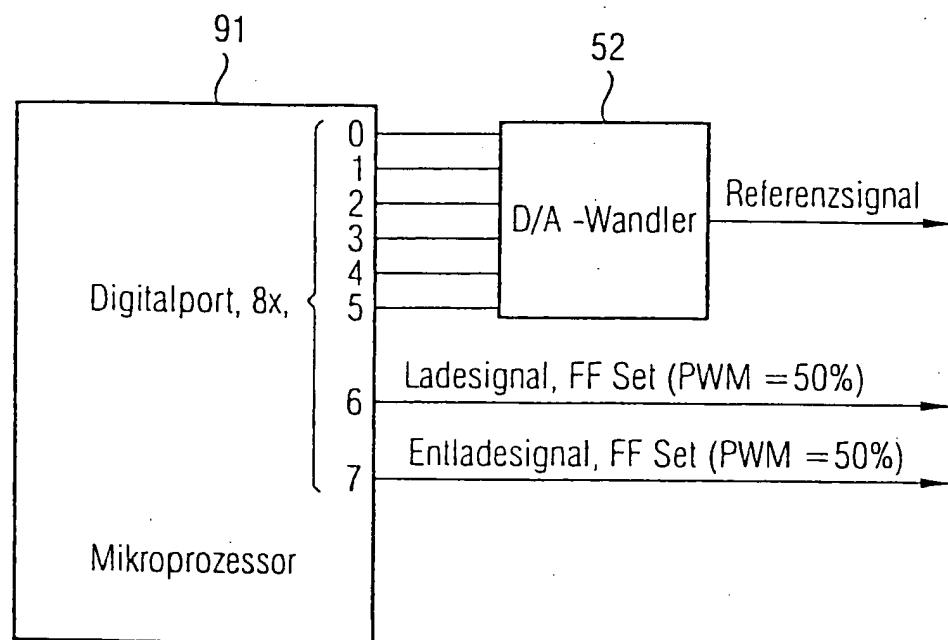
5/6

FIG 5A



6/6

FIG 5B



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int'l Application No  
PCT/DE 00/03863

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 F02D41/20 H01L41/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 F02D H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 126 (M-1381), 17 March 1993 (1993-03-17) -& JP 04 308338 A (NIPPONDENSO CO LTD), 30 October 1992 (1992-10-30)	1-3,5
Y	abstract figure 9 ----	4,6-8,10
Y	GB 2 334 623 A (CUMMINS ENGINE CO INC) 25 August 1999 (1999-08-25) abstract page 4, line 1 -page 6, line 6 claims; figures 1,2 ----	6-8
		-/-

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

5 March 2001

13/03/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Libeaut, L

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/DE 00/03863

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 749 897 A (NAKAMORI YASUTAKA ET AL) 7 June 1988 (1988-06-07) abstract column 3, line 58 -column 4, line 64 column 8, line 1 - line 19 figures 6,10,13 ----	1,2,5,9
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 015, no. 194 (M-1114), 20 May 1991 (1991-05-20) & JP 03 050360 A (NIPPONDENSO CO LTD), 4 March 1991 (1991-03-04) abstract ----	4
Y	JP 02 176121 A (TOYOTA MOTOR CORP) 9 July 1990 (1990-07-09) abstract figure 3 ----	10
A	US 5 543 679 A (HASHIMOTO EIJI ET AL) 6 August 1996 (1996-08-06) the whole document ----	1,2
A	DE 197 34 895 A (SIEMENS AG) 25 February 1999 (1999-02-25) the whole document -----	1,2

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

## Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 00/03863

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
JP 04308338	A 30-10-1992	JP	2927025 B	28-07-1999
GB 2334623	A 25-08-1999	US	6031707 A	29-02-2000
		DE	19907505 A	09-09-1999
		JP	11280527 A	12-10-1999
US 4749897	A 07-06-1988	JP	2546231 B	23-10-1996
		JP	62210241 A	16-09-1987
		JP	2508027 B	19-06-1996
		JP	63107077 A	12-05-1988
JP 03050360	A 04-03-1991	NONE		
JP 02176121	A 09-07-1990	NONE		
US 5543679	A 06-08-1996	JP	7066465 A	10-03-1995
DE 19734895	A 25-02-1999	FR	2767355 A	19-02-1999
		US	5986360 A	16-11-1999

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/DE 00/03863

A. Klassifizierung des Anmeldungsgegenstandes  
IPK 7 F02D41/20 H01L41/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 F02D H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 126 (M-1381), 17. März 1993 (1993-03-17) -& JP 04 308338 A (NIPPONDOENO CO LTD), 30. Oktober 1992 (1992-10-30)	1-3, 5
Y	Zusammenfassung Abbildung 9	4, 6-8, 10
Y	GB 2 334 623 A (CUMMINS ENGINE CO INC) 25. August 1999 (1999-08-25) Zusammenfassung Seite 4, Zeile 1 -Seite 6, Zeile 6 Ansprüche; Abbildungen 1, 2	6-8

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- \* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen
- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- \*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- \*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erlinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- \*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erlinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- \*g\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
5. März 2001	13/03/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl. Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Libeaut, L
---	---

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE 00/03863

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beir. Anspruch Nr.
X	US 4 749 897 A (NAKAMORI YASUTAKA ET AL) 7. Juni 1988 (1988-06-07) Zusammenfassung Spalte 3, Zeile 58 - Spalte 4, Zeile 64 Spalte 8, Zeile 1 - Zeile 19 Abbildungen 6,10,13 ---	1,2,5,9
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 015, no. 194 (M-1114), 20. Mai 1991 (1991-05-20) & JP 03 050360 A (NIPPONDENSO CO LTD), 4. März 1991 (1991-03-04) Zusammenfassung ---	4
Y	JP 02 176121 A (TOYOTA MOTOR CORP) 9. Juli 1990 (1990-07-09) Zusammenfassung Abbildung 3 ---	10
A	US 5 543 679 A (HASHIMOTO EIJI ET AL) 6. August 1996 (1996-08-06) das ganze Dokument ---	1,2
A	DE 197 34 895 A (SIEMENS AG) 25. Februar 1999 (1999-02-25) das ganze Dokument -----	1,2

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 00/03863

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie			Datum der Veröffentlichung
JP 04308338	A	30-10-1992	JP	2927025	B	28-07-1999
GB 2334623	A	25-08-1999	US	6031707	A	29-02-2000
			DE	19907505	A	09-09-1999
			JP	11280527	A	12-10-1999
US 4749897	A	07-06-1988	JP	2546231	B	23-10-1996
			JP	62210241	A	16-09-1987
			JP	2508027	B	19-06-1996
			JP	63107077	A	12-05-1988
JP 03050360	A	04-03-1991	KEINE			
JP 02176121	A	09-07-1990	KEINE			
US 5543679	A	06-08-1996	JP	7066465	A	10-03-1995
DE 19734895	A	25-02-1999	FR	2767355	A	19-02-1999
			US	5986360	A	16-11-1999

